

발전기 기능블럭형 이중화 여자시스템 성능시험

이의택, 이주현, 류호선
한국전력공사 전력연구원

Performance Test of Function Block based Redundant Excitation System for Generators

UiTaek Lee, Joo-Hyun Lee, Ho-Seon Ryu
KEPCO RESEARCH INSTITUTE

Abstract - 최신 발전제어시스템은 신뢰성, 편의성 및 범용성 크게 세 가지 설계의도를 가지고 개발되고 있다. 다중화제어기, 이중화통신, 진단 및 감시시스템 등을 채택하여 높은 신뢰성을 확보하였으며 프로그램 오류과악 및 수정 등의 편의성이 좋은 기능블럭형 타입 프로그램을 이용하여 제어로직을 작성하고 있다. 또한, 발전방식 및 제어대상에 관계없이 활용 가능한 범용적인 고속제어시스템을 개발하여 발전소에 적용하고 있다. 본 논문에서는 최근 전력연구원에서 개발한 고속의 기능블럭형 제어기와 다중화기술이 결합된 여자시스템의 설계구성 및 특징을 기술하고 시스템의 신뢰성확보를 위해 수행한 성능시험 결과를 수록하였다.

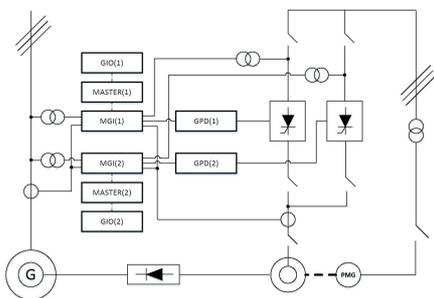
1. 서 론

최신 제어시스템 로직은 IEC-61131-3 표준을 준용하는 기능블럭형 프로그램을 이용하여 작성되는 추세이다. 기능블럭형 응용프로그램은 전체 로직이 시각적으로 표현되어 프로그래밍에 익숙하지 않은 운전원도 제어로직을 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다. 하지만 기능블럭형 프로그램은 어셈블리어나 C언어보다 제어속도가 느리다는 단점을 가지고 있어 응용속도가 빠른 특성을 갖는 발전기 제어분야에서는 고속 통신프로토콜 등 제어속도를 높이기 위한 기술이 뒷받침 되지 않으면 사용하기 어렵다. 최근 글로벌 기업에서는 다양한 플랜트의 요구를 만족시키는 범용의 고속제어기를 선보이고 있다. 전력연구원에서는 이러한 세계적인 기술추세에 따라 고속의 제어속도가 요구되는 플랜트에도 적용 가능한 기능블럭형 타입의 제어시스템 개발을 목표로 연구를 진행하였으며, 순수 국내 기술로 고속제어시스템을 개발하였다. 개발된 시스템 검증을 위해 발전기 여자시스템 기능을 탑재하여 성능시험을 진행하였다. 본 논문에서는 최근 개발한 기능블럭형 이중화 여자시스템의 구성 및 특징과 성능시험을 수행한 결과들을 수록하였다.

2. 본 론

2.1 발전기 여자시스템 구성

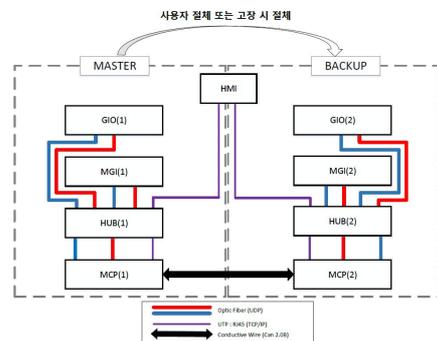
여자시스템은 발전기의 단자전압 및 무효전력 제어를 수행하는 장치로 크게 제어부와 정류부로 구분할 수 있다. 제어부는 발전기 단자전압 제어를 위한 제어/보호로직 등을 수행하는 부분으로 이번에 개발한 여자시스템은 응용프로그램을 수행하는 제어기인 MCP(Main Control Process) 모듈, 발전기 전압 및 전류신호 등을 입력받아 유/무효전력 등 주요 전력신호 연산을 수행하는 MGI(Measurement & Gate Interface) 모듈 그리고 점호제어 신호를 위상제어정류기로 출력하는 GPD(Gate Pulse Drive) 모듈, 입출력 신호를 처리하는 GIO(General Input / Output) 모듈 총 4개의 모듈이 이중으로 구성되어 있다. 정류부는 교류전력을 직류전력으로 변환하는 전력변환 장치로 싸이리스터를 채용한 위상제어정류기가 이중으로 구성되어 있다. [그림 1]은 기능블럭형 이중화 여자시스템 구성도를 나타낸다.



<그림 1> 기능블럭형 이중화 여자시스템 구성도

2.1.1 이중화 구성

기능블럭형 이중화 여자시스템은 완전 이중화 방식을 채택하여 제어기를 포함한 모든 모듈과 정류기가 물리적으로 이중으로 되어 있으며 제어기 내의 통신인터페이스 또한 이중으로 구성되어 어느 한 곳의 고장이 전체 시스템으로 확대되는 것을 방지토록 설계되었다. [그림 2]는 제어시스템의 이중화 구성도를 나타낸다.

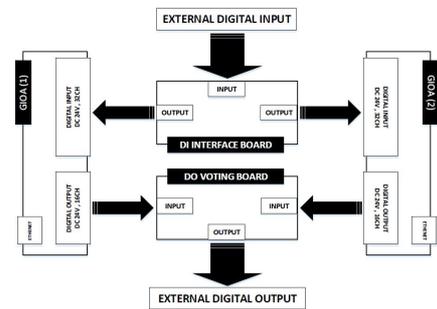


<그림 2> 이중화 여자시스템 구성도

제어기(MCP)는 두 개의 이더넷 광 통신 인터페이스를 가지고 있으며 그 중 마스터 광 통신 인터페이스만 스위칭 허브를 통해 하위 모듈(MGI, GIO)과 통신을 수행한다. 나머지 한 개의 광 통신 인터페이스는 스탠바이 상태로 대기 중인 백업 통신 인터페이스로서, 현재 통신 중인 마스터 광통신 인터페이스에 문제가 발생하면 백업 광통신 인터페이스로 자동 절체가 일어난다. 만약 백업 광통신 인터페이스에도 문제가 발생하면 백업 제어기로 제어기 절체가 일어난다. 이중화 제어기는 서로 간에 Heart Beat 신호 및 자기진단 신호 등을 Can 통신을 통해 주고 받아 상대방 제어기 상태를 실시간으로 감시한다. 제어를 수행중인 마스터 제어기에 문제가 발생하면 이를 통해 문제를 인식하고 자동으로 백업 제어기로 절체 되도록 설계하였다.

2.1.2 입출력구성

외부기에서 입력되는 디지털 입력신호는 디지털 입력 인터페이스 모듈을 통해 이중화된 GIO 모듈로 각각 분기되어 입력된다. 이중화된 입출력모듈에서 출력되는 디지털 출력신호는 디지털 출력 보팅 모듈로 입력되어 하나의 출력을 외부로 출력하게 된다. [그림 3]은 GIO 모듈로 입력되는 디지털 입력신호와 GIO 모듈로부터 출력되는 디지털 출력신호의 처리 방법을 도식화하여 나타낸 것이다.



<그림 3> 입출력신호 블록도

2.2 소프트웨어 구성

기능블럭형 이증화 여자시스템에 탑재된 소프트웨어는 크게 실시간 운영체제(RTOS)와 응용프로그램(Application)으로 구분할 수 있다. 실시간 운영체제는 한정된 제어기의 자원을 운영체제 내에서 실행되는 여러 태스크들에 효율적으로 할당하며 이들이 실행시간(ScanTime)내에 주기적으로 수행될 수 있도록 스케줄링을 관리한다. 실시간 운영체제는 이치럼 태스크들의 결정론적(Deterministic) 실행시간을 보장해야하는 등 고신뢰성이 요구되므로 산업계에서 검증된 VxWorks를 채용하였다.

응용프로그램은 실시간운영체제 위에서 동작하는 프로그램으로 IEC61131-3 국제 표준을 준용한 ISaGRAF 통합개발환경을 이용하여 작성하였다. 여자시스템의 응용프로그램은 그 목적에 따라 크게 제어, 제한 그리고 보호의 세 가지 기능으로 분류할 수 있다.

제어기능은 발전기 단자전압제어와 무효전력제어 등 발전기 출력이 운전원이 입력한 참조값을 추종하도록 하는 역할을 수행한다. 여기에는 AVR(자동전압제어), MVR(수동전압제어), AQR(자동무효전력제어), APCR(자동역률제어) 등의 함수블록이 포함된다.

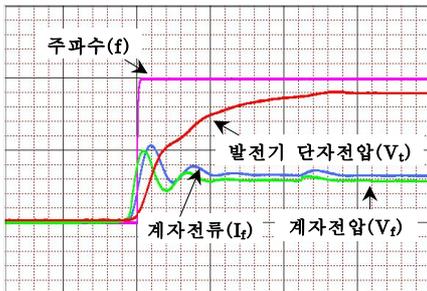
제한기능은 발전기가 발전기 능력곡선 내에서 안정적으로 운전되도록 보장하여 발전기 및 발전기에 연결된 기기들을 보호하는 기능을 말한다. 여기에는 V/Hz Limiter(과자속 제한), OEL(과여자 제한), UEL(부족여자 제한), SCL(고정자 과전류 제한) 등의 함수블록이 포함된다.

보호기능은 한시/반한시 보호계전기의 특성을 포함하여 소프트웨어적으로 구현되었으며 실시간으로 변하는 자속, 계자전류 및 전압의 크기에 따라 각각 다른 특성곡선을 만들어낸다. 여기에는 V/Hz Trip(과자속 보호), OET(과여자 보호), OVT(과전압 보호) 함수블록이 포함된다.

2.3 성능시험 결과

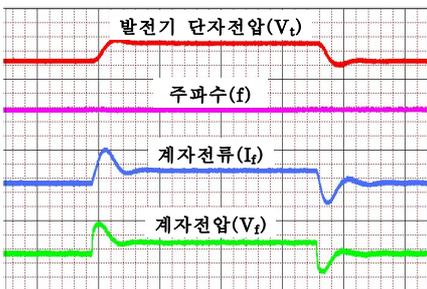
성능시험은 여자시스템의 모든 제어/제한/보호 로직에 대한 기능과 마스터/백업 이중화 제어기간의 자동절체 시험 등을 포함하여 수행되었다. 제어/제한/보호 기능, 전력계통 안정화 장치(PSS)의 주요 파라미터는 발전기 무부하 포화곡선 및 능력곡선 등의 데이터를 참고하여 사전 튜닝 후 성능시험을 진행하며 최적의 값으로 튜닝을 진행하였다.

[그림 4]는 발전기 정격속도의 무부하 상태에서 계자차단기 투입 후 발전기 전압이 생성되는 과정을 보여준다. 소프트 스타트 기동로직에 따라 전압이 서서히 증가하여 초기 전압 설정 값까지 발전기 전압이 안정적으로 확립되는 것을 볼 수 있다.



〈그림 4〉 발전기 전압확립 시험

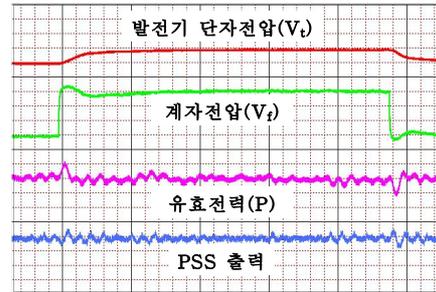
다음의 [그림 5]는 계단응답 시험결과를 나타낸다. 제어기 참조 값(Reference Voltage)에 계단응답 신호를 인가하여 제어대상의 특성을 파악하고 그에 알맞은 PI 제어기 파라미터로 튜닝 되었는지 시험하였다. 시험결과 계단응답 신호 인가 후 발전기 전압이 오버슈트 없이 빠르게 추종함을 확인하였다.



〈그림 5〉 5% 계단응답 시험

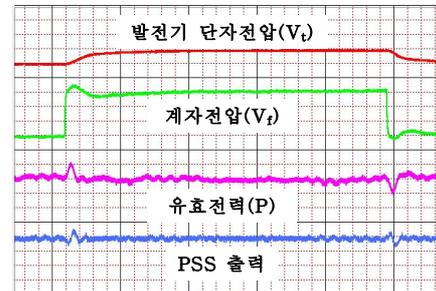
여자시스템 내에 소프트웨어적으로 구현된 전력계통 안정화 장치의 성능을 시험하기 위해 계통병입 후 1/2 부하에서 계단응답 시험을 진행

하였다. [그림 6]은 전력계통 안정화 장치(PSS) 적용하기 전의 계단응답 시험결과이며, [그림 7]은 전력계통 안정화 장치 적용 후의 계단응답 시험결과를 나타낸다. 전력계통 안정화 장치 적용 전에는 계단응답 신호에 따라 유효전력이 함께 동요하여 출력이 몇 사이클 이상 안정화되지 않는 상태로 심하게 흔들리는 것을 볼 수 있다.



〈그림 6〉 부하 계단응답 시험(PSS 적용 전)

이와는 대조적으로 전력계통 안정화 장치 적용 후에는 계단응답 신호 인가 후 한 사이클 반 정도 만에 유효출력이 급세 안정화된 것을 볼 수 있다.



〈그림 7〉 부하 계단응답 시험(PSS 적용 후)

3. 결 론

현재까지 대부분 선진외국기업에 의존하고 있는 기능블럭형 타입의 제어시스템을 순수 국내기술로 설계/제작하여 성능시험을 수행하였다. 이번 개발한 제어시스템은 고속의 제어속도가 요구되는 플랫폼에도 적용할 수 있도록 시스템을 설계하였으며 여자시스템 성능시험을 통해 그 신뢰성을 입증하였다.

성능시험을 통해 무부하 및 부하상황에서 제어/제한/보호기능의 건전성을 확인하였을 뿐 아니라 제어기 및 통신인터페이스 절체시험을 통해 순간전압강하(Sag) 없이 연속적인 제어가 안정적으로 수행됨을 확인하였다.

앞으로 이번 성능시험 결과를 바탕으로 제어시스템의 속도 뿐 아니라 입력전원 주파수 등 제어대상의 특성에 관계없이 적용가능한 한 범용적인 제어시스템으로 활용될 수 있도록 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼을 고도화해 나갈 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hoseon Ryu, UiTaek Lee, Joohyun Lee, Hanju Cha, "Development of High Speed Function Block Controller for Excitation System and Static Frequency Converter of Synchronous Machine", ICEE, 2014
- [2] Hoseon Ryu, UiTaek Lee, Hanju Cha, "Redundant Digital Excitation System For Synchronous Generator Equipped With High Speed Function Block Controller", CEPsi, 2014
- [3] 우주희, 김종안, "수차 조속기 및 발전기 제어시스템 국산화 개발 (2차년도 중간보고서)", 전력연구원 TM, 2014

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20123040060010)